



Trabajo para la obtención del Título de Graduado en Ciencias del Deporte

**ANÁLISIS CINÉTICO Y CINEMÁTICO DE LA CARRERA DE VELOCIDAD 100 METROS
LISOS EN SUS DIFERENTES FASES**

Autor:

D. CÉSAR CARRILLO CORDÓN

Departamento de Deportes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte (INEF)

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

CURSO 2013-2014



Trabajo para la obtención del Título de Graduado en Ciencias del Deporte

**ANÁLISIS CINÉTICO Y CINEMÁTICO DE LA CARRERA DE VELOCIDAD 100 METROS
LISOS EN SUS DIFERENTES FASES**

Autor:

D. CÉSAR CARRILLO CORDÓN

Dirigido por:

Dr. CARLOS ALBERTO CORDENTE MARTINEZ (Doctor en Ciencias de la Actividad Física y
del Deporte)

Departamento de Deportes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del
Deporte (INEF)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CURSO 2013-2014

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero agradecer a mi familia, mis padres y mi hermano todo el apoyo y el cariño que me dan siempre.

A Laura por estar siempre animándome tanto en los momentos buenos como en los más complicados de donde ella siempre saca algo positivo.

Así mismo, agradecer al Doctor Carlos Alberto Cordente Martínez, mi tutor en este trabajo, del que he aprendido muchísimas cosas tanto a nivel profesional como humanamente.

También quería dar las gracias a todos mis compañeros del Inef, amigos de mi pueblo con los que he compartido muchas vivencias que siempre recordare con una sonrisa. Y sobre todo a los compañeros de piso, Pablo y Adrian que son casi como hermanos y que siempre están para lo bueno como para lo malo.

Y por último agradecer a la Facultad de Ciencias del Deporte, Inef, por estos 4 años de formación que han sido inolvidables.

ÍNDICE

CONTENIDOS

PÁGUINA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
RESUMEN / ABSTRACT.....	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación y aplicación.....	3
1.2 Características de la carrera de velocidad.....	4
2. OBJETIVOS.....	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
4. RESULTADOS.....	23
5. DISCUSIÓN.....	31
6. CONCLUSIONES.....	35
7. CONSIDERACIONES FINALES RESPECTO A LA APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO.....	39
8. BIBLIOGRAFÍA.....	43

ÍNDICE DE ABREVIATURAS:

TFG: Trabajo Fin de Grado

CSD: Consejo Superior de Deportes

CAR: Centro de Alto Rendimiento

CG: Competencias Generales

CE: Competencias Específicas

UPM: Universidad Politécnica de Madrid

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

CDG: Centro de Gravedad

RFEA: Real Federación Española de Atletismo

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Fases del ciclo de carrera.....6

Figura 2: Instantes de tiempo característicos que describen las fases de una zancada...8

Figura 3. Esquema representativo de la toma de datos.....21

Figura 4: Gráfica completa 100m.....25

Figura 5: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de Aceleración.....27

Figura 6: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de Mantenimiento de la
aceleración.....27

Figura 7: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de velocidad máxima.....28

Figura 8: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de velocidad-resistencia.....29

RESUMEN

El presente estudio, se realizó en las instalaciones del CSD con los velocistas del Centro de Alto Rendimiento, se analizó en él una carrera de velocidad de 100m utilizando instrumentos novedosos como son el láser para la obtención de la velocidad instantánea y plantillas podológicas instrumentadas para la medición de la fuerza vertical de los apoyos. Estos instrumentos nos aportan una información imposible de conseguir hasta la fecha fuera de un contexto de laboratorio permitiendo que podamos analizar con detalle en cada fase de la carrera de velocidad tanto la cinemática como la cinética de la misma.

Además, a partir de los resultados que nos aportan estos instrumentos y de su posterior análisis, nos encontramos en disposición de entregar a los entrenadores con los que colaboramos un informe detallado acerca de las características específicas de sus corredores en cada tramo de la carrera que les permitirá hacer los ajustes necesarios en su entrenamiento con los que optimizar el rendimiento de sus atletas.

ABSTRACT

This study was conducted at the facilities of CSD sprinters with High Performance Center, it was analyzed in a sprint of 100m using new instruments such as the laser to obtain the instantaneous velocity and implemented templates for podiatric measuring the vertical force of the supports. These instruments provide us with information impossible to get far outside a laboratory setting allowing us to analyze in detail each phase of sprinting both kinematic and kinetic thereof.

In addition, the results from these instruments that we provide and further analysis, we ready to deliver the coaches with whom we collaborate a detailed report about the specific characteristics of their runners in each leg of the race they allow you to make adjustments in your training that optimize the performance of their athletes.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y aplicación

La realización del presente trabajo se enmarca dentro del plan de estudios del grado de ciencias del deporte de la UPM. Por ellos atendiendo a la normativa sobre la realización del trabajo de fin de grado (TFG de ahora en adelante), se cumplen sus requisitos:

“El TFG, supone la realización de forma individual, por parte del estudiante, de un proyecto memoria o estudio original en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, bajo la supervisión de un tutor, en el que se integren y desarrollen los contenidos formativos recibidos y las competencias adquiridas en las enseñanzas de Grado.”

“El TFG deberá estar relacionado con las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y con el itinerario elegido por el estudiante. Podrá ser de carácter teórico, teórico-práctico o práctico, debiendo estar relacionado con el desarrollo de competencias específicas de la titulación y de los contenidos propios de las asignaturas.”

“ El TFG deberá estar orientado a la aplicación de las competencias generales asociadas a la titulación, a capacitar para la búsqueda, gestión, organización e interpretación de datos relevantes relacionadas con la titulación y con el ejercicio de la profesión, normalmente de su área de estudio, para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica, tecnológica o ética, y que facilite el desarrollo de un pensamiento y juicio crítico, lógico y creativo.”

Este trabajo se enmarca dentro del itinerario de entrenamiento deportivo, siendo de carácter teórico y relacionándose con las competencias siguientes:

COMPETENCIAS

CG1. Desarrollar y mostrar en su aplicación una alta capacidad de análisis y de síntesis de la información relativa al campo de conocimiento y profesional.

CG 5. Gestionar con eficacia y eficiencia la información procedente de diferentes fuentes integrando sus aspectos relevantes para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

CG 6. Transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

CG 12. Comprender y manejar la literatura científica del ámbito de la actividad física y el deporte en lengua inglesa y en otras lenguas de presencia significativa en el ámbito científico y específico de conocimiento.

CG 14. Utilizar y aplicar las tecnologías de la información y comunicación (TIC) al ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, usando las principales fuentes de información científica disponibles.

ESPECIFICAS

CE 7. Planificar, desarrollar y evaluar la realización de programas y procesos de entrenamiento deportivo en sus distintos niveles.

CE 8. Aplicar de manera fundamentada y argumentada los principios fisiológicos, biomecánicos, compartimentales y sociales, durante la dirección del entrenamiento deportivo.

1.2 Características de la carrera de velocidad en sus diferentes fases.

La carrera de 100 metros lisos es una actividad deportiva de muy corta duración que requiere durante su realización utilizar diferentes técnicas aplicadas en los diferentes movimientos ejecutados en cada fase de la carrera.

Para facilitar el análisis de esta carrera, la dividiremos en cuatro fases (Gambetta, Winckler, Rogers, Orogne, Seagrave & Jolly, 1989, en Schiffer, 2009):

1. Aceleración inicial
2. Mantenimiento de la aceleración
3. Velocidad máxima
4. Velocidad-Resistencia o Deceleración.

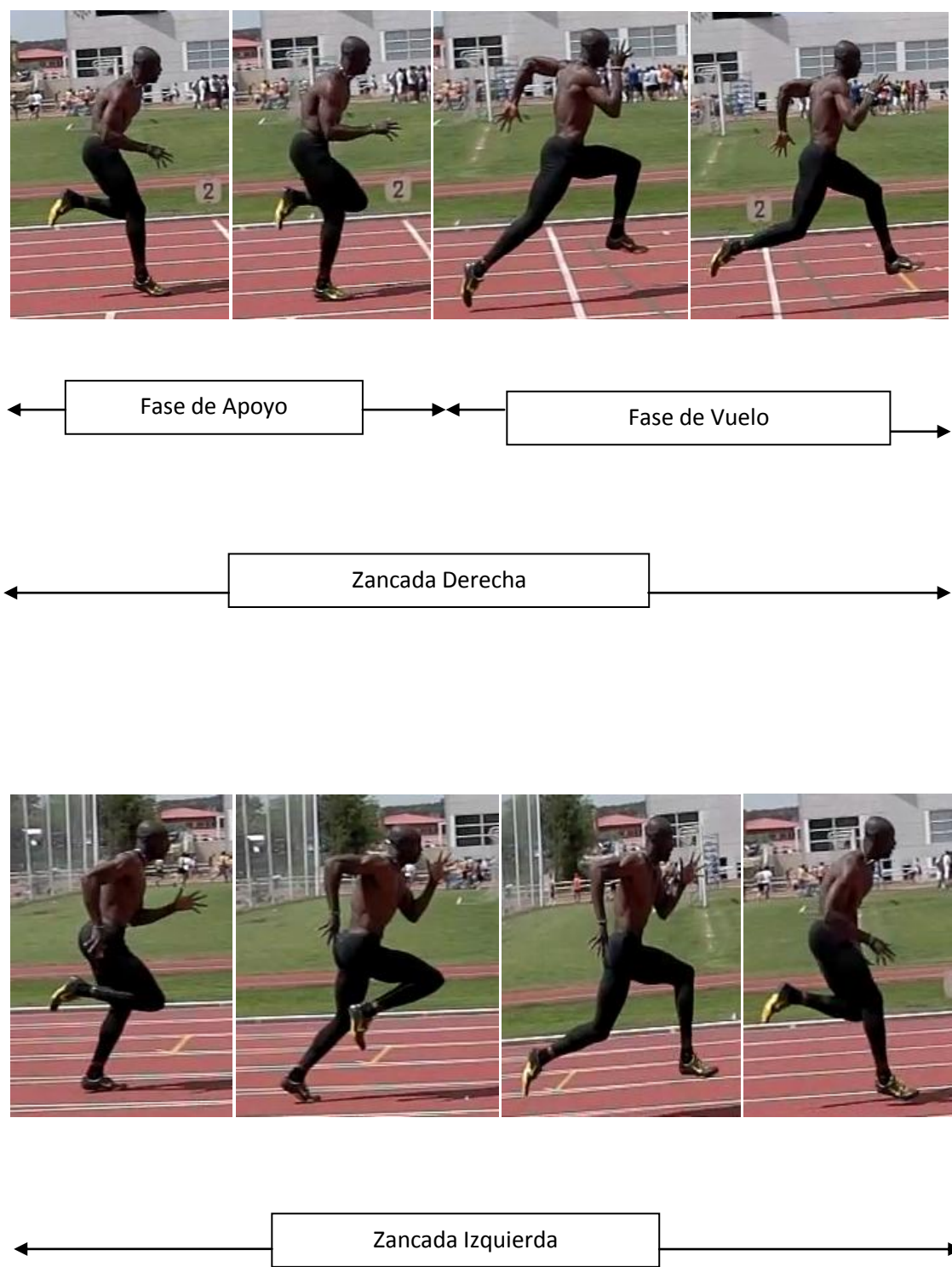
Cinemática de la Carrera:

La carrera es una forma de locomoción bípeda, utilizada en la mayoría de las actividades físicas y deportivas, en las que se requiere un rápido desplazamiento del cuerpo. Esta caracterizada por la existencia de una fase de apoyo unipodal, que transcurre durante, aproximadamente, el 35-50% del tiempo de duración de una zancada, y una fase de vuelo, donde, a diferencia de la marcha en la que siempre hay un pie en contacto con el suelo (Weber y Weber, 1991), los pies despegan del mismo durante el 50-65% restante.

La unidad básica para el estudio de la carrera es la zancada. Un ciclo completo de carrera está compuesto por dos zancadas, es decir, desde el instante en que el pie toma contacto con el suelo hasta que el mismo pie vuelve a contactar, después de transcurridas dos fases de vuelo (Dillman, 1975).

Por lo tanto, el cuerpo se mueve sobre el suelo siendo alternativamente soportado y proyectado por cada uno de los miembros inferiores. Es importante analizar un ciclo de zancada de carrera para conocer los aspectos cinemáticos de cada apoyo, es decir, dos zancadas consecutivas ya que estas no son absolutamente simétricas en los deportistas (Ferro, 2001).

Figura 1. Fases del ciclo de carrera.



Fases de la zancada:

Los autores utilizan diferentes criterios para describir las fases durante las que transcurre una zancada y poder explicar la técnica; en esta revisión, se presentan las propuestas realizadas por Ferro (1996a) basadas en los trabajos de Tsujino (1966).

- **Fase de Apoyo:**

Instantes característicos:

- Contacto (t_1): Instante de inicio del movimiento, en la que cualquier parte del pie apoya en el suelo.
- Apoyo plantar (t_2): instante en que se produce el apoyo de toda la planta del pie.
- Apoyo_cdg (t_{cdg-ap}): Instante en que la proyección del centro de gravedad (CDG) pasa sobre la articulación de los metatarsianos.
- Despegue del talón (t_3): Instante en el que talón despegas del suelo
- Despegue de la punta del pie (t_4): Instante en que el pie abandona el suelo.

Subfases:

- Fases de recepción o frenado: Incremento de tiempo comprendido entre los instantes t_1 y t_2 .
- Fase de transición: Incremento de tiempo comprendido entre t_2 y t_3 .
- Fase de impulso o propulsiva: Incremento de tiempo entre los instantes t_3 y t_4 .

- **Fase de Vuelo:**

Instantes característicos:

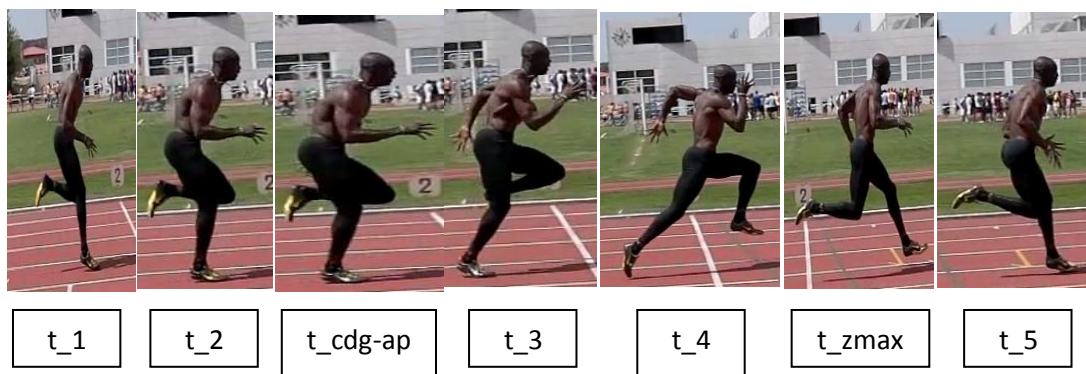
- Altura máxima del CDG (t_{Zmax}): Instante en que el centro de gravedad alcanza su máxima altura.

- Velocidad máxima del muslo ($t_{Vm.max}$): Instante en que el segmento muslo alcanza su máxima velocidad anteroposterior (no se representa en la figura)
- Contacto del pie contrario (t_5): Instante en que el pie contrario toma contacto con el suelo.

Subfases:

- Fase de recobro: Incremento de tiempo comprendido desde que el pie despeg del suelo (t_4) hasta que el CDG alcanza la altura máxima (t_{Zmax}).
- Fase de avance: Incremento de tiempo comprendido entre el instante en que el CDG alcanza su altura máxima hasta que el pie contrario contacta de nuevo con el suelo (t_5).

Figura 2. Instantes de tiempo característicos que describen las fases de una zancada.



Durante el apoyo, la mayor parte de la fuerza es aportada por los músculos extensores de la pierna de apoyo y el pie, proporcionando mayor avance y elevación al cuerpo; éste permanece en el aire durante el tiempo que permite la componente vertical de fuerza propulsiva. La pierna libre se mueve hacia delante y, posteriormente, hacia atrás para tomar contacto con el suelo realizando un movimiento rápido (Ferro, 2001).

En el contacto, el pie se sitúa bajo la rodilla y tan próximo como sea posible a la línea del centro de gravedad del cuerpo; de esta manera, en el momento del aterrizaje, la fuerza de reacción del suelo tiene una componente fundamentalmente vertical hacia arriba y la fuerza de frenado es nula o muy reducida. De hecho, la fase de apoyo es, en la carrera de velocidad, en su mayor parte, propulsiva (Broer y Zernicke, 1979).

Los tiempos de apoyo en la carrera disminuyen con el aumento de la velocidad por lo que, en un reducido intervalo de tiempo, se debe producir una rápida absorción del impacto, una deceleración de la pierna de apoyo al tomar contacto con el suelo, una estabilización lateral del pie y una aceleración del centro de gravedad, necesaria para el despegue (Ferro, 2001).

Durante la primera mitad de la fase de apoyo la mayoría de los músculos del miembro inferior están activos para soportar el peso del cuerpo y absorber el impacto. En la fase de contacto inicial, la rodilla se flexiona y el músculo cuádriceps se contrae excéntricamente para absorber el choque (Novacheck, 1998). El aumento del ángulo de flexión de la rodilla en el momento de contacto disminuye la magnitud de las fuerzas de reacción (Derrick TR, 2004). Ounpuu (1990), determinó que, durante la carrera, la rodilla como articulación principal para la absorción del choque, absorbía un impacto tres veces mayor al de la cadera y el tobillo, mientras que los flexores plantares del tobillo, mediante su acción excéntrica, presentaban un papel principal como generadores de potencia.

Cinética de la Carrera:

El análisis de las fuerzas de reacción transmitidas por el suelo en los apoyos cuando el deportista se halla en contacto con éste, nos da información de cómo se produce el movimiento a partir de la acción de las fuerzas internas desarrolladas en la carrera. Dichas fuerzas determinan el patrón de aceleración del centro de gravedad, completando la información extraída del análisis cinemático.

Las fuerzas de reacción a menudo constituyen uno de los componentes primarios para la evaluación de la fase de apoyo de la carrera. El objeto del análisis cinético es descomponer la resultante de las fuerzas de reacción en sus tres componentes:

vertical, anteroposterior y mediolateral. Cada una de las cuales varía en magnitud, dirección y punto de aplicación en el transcurso del apoyo del pie en la carrera.

Fuerza de Reacción Vertical:

Las variables relacionadas con la fuerza de reacción vertical son las más importantes en el análisis cinético de la carrera, pues es la componente mayoritaria y la que proporciona la información más relevante.

Cavanagh y colaboradores (1990) realizaron estudios cinéticos de la carrera en corredores y vieron que las gráficas fuerza - tiempo mostraban un patrón de fuerzas verticales en doble pico. El primero de 220% PC a los 23 ms y el segundo, más progresivo y suave, de 280% PC a los 83 ms. Este doble pico aparecía en los participantes que realizaban contacto inicial con el talón. Los participantes que contactaban con el mediopié no presentaban un primer pico importante y sólo mostraban un pico máximo de 270% PC en el 75 ms, similar al segundo pico máximo del grupo de contacto inicial con el retropié.

Otras investigaciones han confirmado que el patrón de carrera característico en doble pico es propio de los corredores que realizan el contacto inicial con el retropié (Nilsson J, Thorstensson A, 1989; Hreljac A, Marshall RN, Hume PA, 2000). El primer pico, denominado “heel transient” (Perry J, Burnfield JM, Cabico LM, 2010), es de inicio súbito, ocurre en el 10% inicial del tiempo de contacto y corresponde al impacto del talón. Le sigue un ligero descenso y posteriormente un ascenso al segundo pico máximo, denominado también “pico activo”, que representa el impulso del antepié y que ocurre en el último 60-75% del tiempo de apoyo. Los sujetos que realizan contacto inicial con el mediopié no presentan el primer pico de impacto y muestran un patrón en único pico al final de la fase de apoyo (Nilsson J, Thorstensson A, 1989; Hreljac A, Marshall RN, Hume PA, 2000; Perry J, Burnfield JM, Cabico LM, 2010).

En condiciones normales, entre el 75% y el 90% de los corredores realizan el contacto inicial con el talón (Hreljac A, Marshall RN, Hume PA, 2000; Perry J, Burnfield JM, Cabico LM, 2010). Anteriormente, Cavanagh y colaboradores (1980) habían afirmado que las características del contacto inicial dependían de la velocidad de carrera y

asociaron el contacto inicial con el talón con la velocidad de carrera lenta y el contacto con el mediopié con la carrera a mayor velocidad. Sin embargo, Doherty (1976) analizó las características del patrón de contacto inicial según la velocidad y encontró que el contacto se distribuía a lo largo del 60% de la superficie posterior del pie, era diferente entre los individuos según su estrategia articular e independiente de la velocidad de carrera.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Comparar la cinética y cinemática de la carrera de 100 metros lisos en sus diferentes fases.
- Facilitar la interpretación de la información aportada por los novedosos instrumentos utilizados en esta facultad para el estudio tanto de la cinética como la cinemática de la carrera de velocidad en sus diferentes fases.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

MUESTRA

Se tomó como sujeto de estudio a un velocista de nivel nacional becado por la RFEA que entrena en el CAR de Madrid. Durante la toma de datos, el sujeto realizó 2 series de 100 metros con 12 minutos de recuperación entre uno y otro. Para este estudio se tomó la mejor de las dos muestras.

INSTRUMENTAL

Para la medición de la velocidad de carrera se utilizó un sistema láser y para la obtención de la fuerza vertical aplicada en el suelo se emplearon unas plantillas podológicas instrumentadas. Además se filmaron las diferentes carreras realizadas con cámaras de alta velocidad. La toma de datos se realizó sin condicionar la movilidad natural del atleta.

Se aportan a continuación detalles de todo el instrumental utilizado:

Sistema láser:

Se utilizó un sensor láser tipo 1 (LDM301, Jenoptik, Germany) que se halla integrado en un Sistema de análisis cinemático en tiempo real para entrenamientos y competiciones deportivas, BioLaserSport® (patentado por Ferro y Floría, 2010 y marca registrada por Ferro, 2012). El sensor láser tiene un rango de medida de 0.5 a 300 m en superficies naturales, exactitud de ± 0.06 m para valores de medida de 2 kHz y resolución de 0.001m. Para la medida de las distancias de la prueba se utilizó un medidor láser Stanley TLM160i, calibrado según normas ISO, de un alcance de 0.05 m a 60 m, precisión de ± 0.0015 m y unidad mínima visualizada de 0.001 m. Los datos se registraron y trataron mediante el software DasyLab v. 10.0 (Data Acquisition System Laboratory de National Instruments) mediante una rutina DSL30 creada al efecto según el protocolo descrito por Ferro, Floría, Villacieros, & Aguado-Gómez (2012a).

Precisión y fiabilidad:

El sensor láser proporcionó, con relación a la fotogrametría, diferencias en las velocidades medias y máximas de -0.11 m/s y 0.14 m/s, respectivamente, con unos coeficientes de correlación superiores a 0.86, y mayores de 0.92 con las células fotoeléctricas para las velocidades medias. Este mostró una excelente fiabilidad test-retest para las velocidades medias con un coeficiente de correlación intraclass (ICC) entre 0.7-0.9 y un error estándar de la media (SEM y SEM%), intrasesión e intersesión, menor de 0.05 m/s y 0.12 m/s, respectivamente, y menores de 0.75% y de 2%, respectivamente. Para las velocidades máximas, los valores fueron menores de 0.10 m/s y 0.17 m/s, respectivamente, y en ambos casos menores a 1.36% y 1,89%. El láser fue capaz de identificar mínimos cambios detectables (MDC y MDC%) intrasesión, para ambas variables, menores a 0.14 m/s y 0.29 m/s, respectivamente ($< 2.09\%$ y $< 3.76\%$) e intersesión, menores de 0.34 m/s y 0.47 m/s ($< 5.56\%$ y $< 5.25\%$), respectivamente.

Plantillas podológicas:

Se utilizaron las plantillas de la marca Gebiomized® para la medición de los datos relativos a la fuerza aplicada en el suelo por el atleta. El sistema consta de:

- Plantillas flexibles de 2 mm de espesor instrumentadas con 64 sensores de presión por plantilla.
- Emisor de datos vía radio (Bluetooth) del sistema de plantillas instrumentadas de medición de la presión plantar dinámica con un alcance de 125 metros.
- Computadora personal que almacena y procesa los datos en el mismo a través del Software.

La velocidad de muestreo de las plantillas podológicas es de 200 Hz, de modo que permite registrar los movimientos atléticos con un alto grado de exactitud.

Cámaras de alta velocidad

La filmación de las diferentes carreras se realizó mediante 7 cámaras de alta velocidad Casio Exilim EXF1 configuradas a 300Hz. Las cámaras se situaron de la manera que puede observarse en el esquema siguiente:

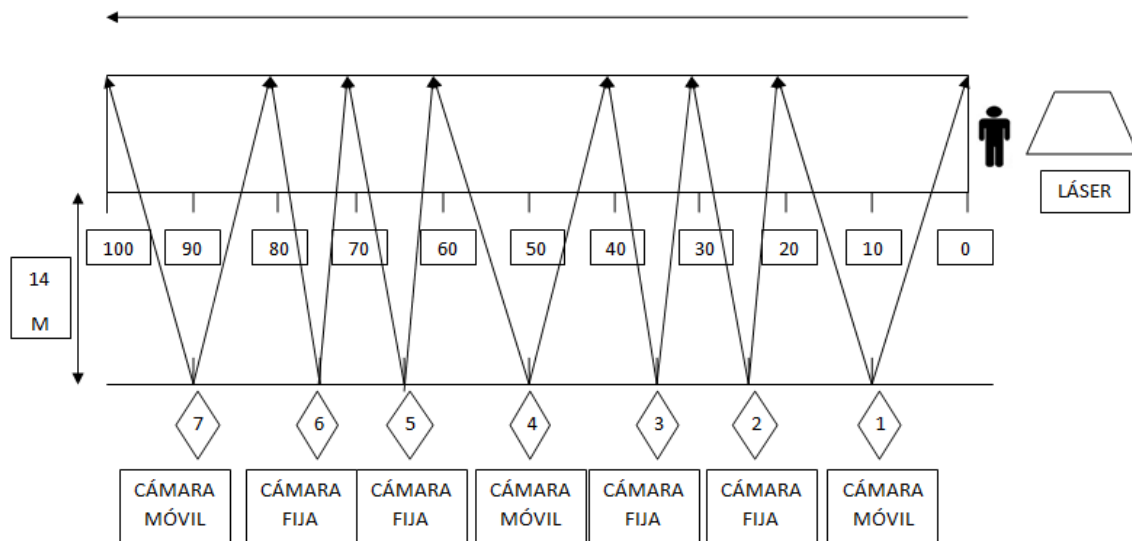


Figura 3. Esquema representativo de la toma de datos.

Todas las cámaras situadas a 14 metros de la calle por la que se desarrolla la carrera.

Cámara 1: móvil. Situada a los 10 metros y graba de 0 a 20 metros.

Cámara 2: fija. Situada a los 25 metros y graba de 20 a 30 metros.

Cámara 3: fija. Situada a los 35 metros y graba de 30 a 40 metros

Cámara 4: móvil. Situada a los 50 metros y graba de 40 a 60 metros.

Cámara 5: fija, situada a los 65 metro y graba de 60 a 70 metros.

Cámara 5: fija. Situada a los 75 metros y graba de 70 a 80 metros.

Cámara 7: móvil, situada a los 90 metro y graba de 80 a 100 metros.

Tratamiento del conjunto de datos:

Al no estar sincronizados de origen los datos de los diferentes instrumentos utilizados en este estudio, se realizó una sincronización manual de los datos de fuerza y velocidad en base a los datos aportados por estos sistemas y utilizando las filmaciones a alta velocidad como herramienta de apoyo.

Es necesario señalar que para eliminar la existencia del ruido detectado en los datos aportados por las plantillas podológicas durante la fase de vuelo, cuando los datos de fuerza deben ser equivalentes a 0, igualamos a 0 cualquier dato inferior a 100N.

Para el análisis de los datos de vídeo se utilizó la versión 0.7.10 del software gratuito Kinovea descargado desde www.kinovea.org

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

En la figura 4 pueden observarse los resultados de la toma de datos realizada en el Centro de Alto Rendimiento de Madrid.

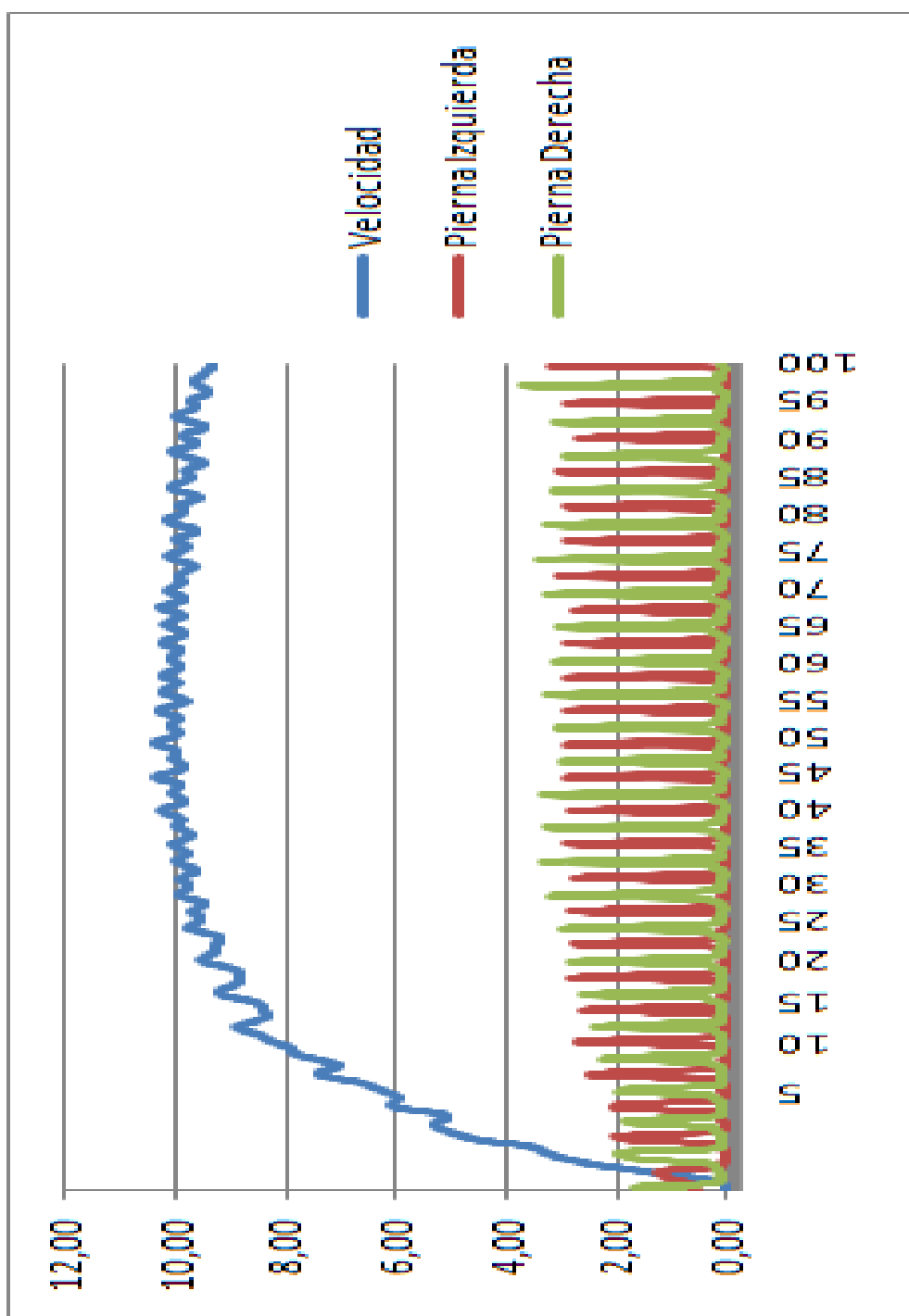


Figura 4: Gráfica completa 100m

La carrera de 100 metros lisos es una actividad deportiva de muy corta duración que requiere durante su realización utilizar diferentes técnicas aplicadas en los diferentes movimientos ejecutados en cada fase de la carrera.

En base a la observación de la cinética de la velocidad a lo largo de la carrera y siguiendo la clasificación de Gambetta y colaboradores (1989) en Schiffer (2009), distinguimos las siguientes fases de la misma:

Fase 1: Aceleración: 0 a 10 metros

Fase 2: Mantenimiento de la aceleración: 10 a 40 metros

Fase 3: Velocidad máxima: 40 a 80m

Fase 4: Velocidad-Resistencia o Deceleración: 80 a 100m

Tal y como puede observarse en la figura 5, el apoyo del pie izquierdo resulta tener un pico de fuerza ligeramente superior al apoyo del pie derecho. También se observa que ambos apoyos generan una aceleración tras la caída de la velocidad producida por la brevísima fase de vuelo aunque dicha caída de la velocidad continua en los primeros instantes del apoyo derecho. El pico de velocidad generado por el apoyo izquierdo es ligeramente superior al generado por el apoyo derecho.

Asimismo, se observa una anomalía en el inicio del apoyo derecho que, como veremos a continuación, aparecerá constantemente a lo largo de la carrera.

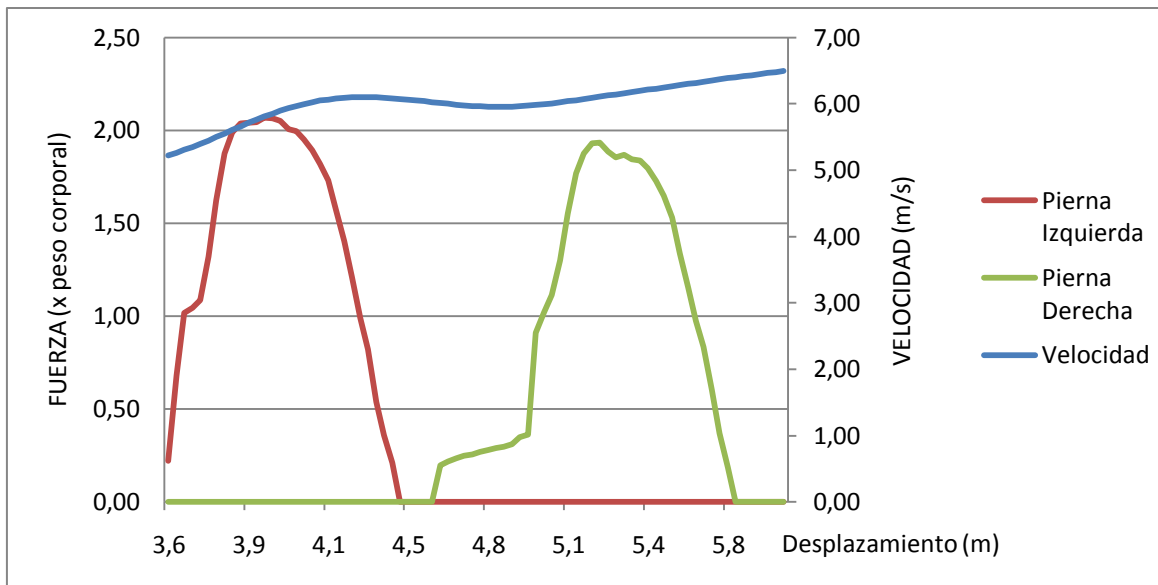


Figura 5: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de Aceleración.

Tal y como puede observarse en la figura 6, el apoyo del pie derecho tiene durante la fase de mantenimiento de la aceleración un pico de fuerza ligeramente superior al izquierdo. Se observa también como ambos apoyos generan una aceleración tras la caída de la velocidad producida por la fase de vuelo siendo el pico de velocidad generado por el apoyo derecho ligeramente superior al generado por la pierna izquierda.

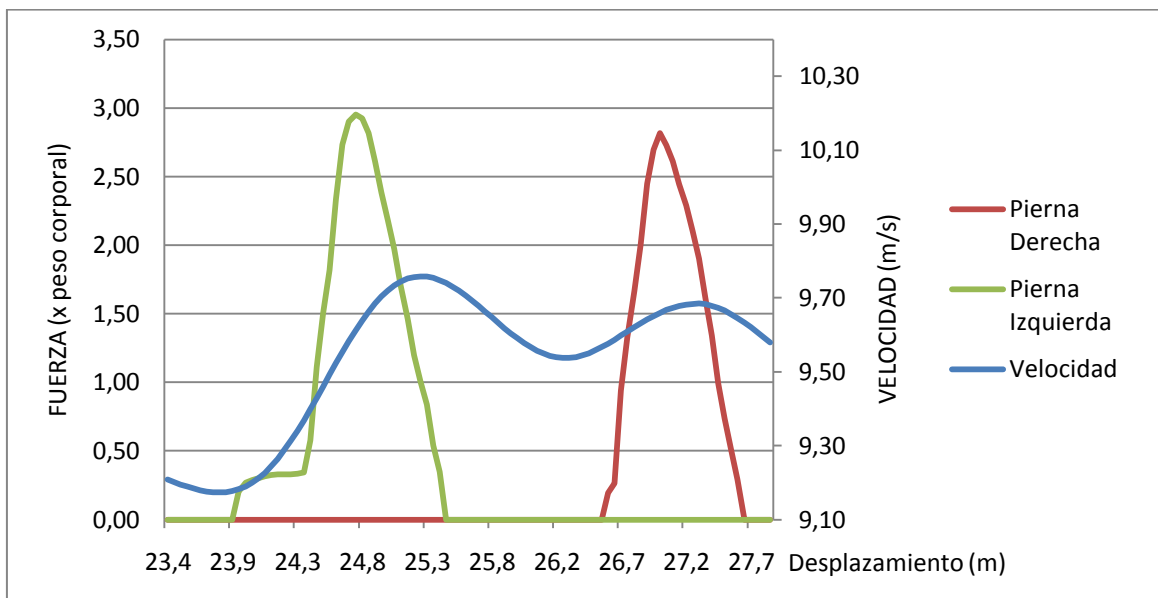


Figura 6: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de Mantenimiento de la aceleración

Tal y como puede observarse en la figura 7, el apoyo del pie izquierdo resulta tener nuevamente un pico de fuerza ligeramente inferior al apoyo del pie derecho aunque la diferencia entre ambos puede considerarse insignificante. También se observa que ambos apoyos generan una aceleración tras la caída de la velocidad producida por la fase de vuelo pero en esta ocasión el pico de velocidad generado por el apoyo izquierdo es sensiblemente superior al generado por la pierna derecha.

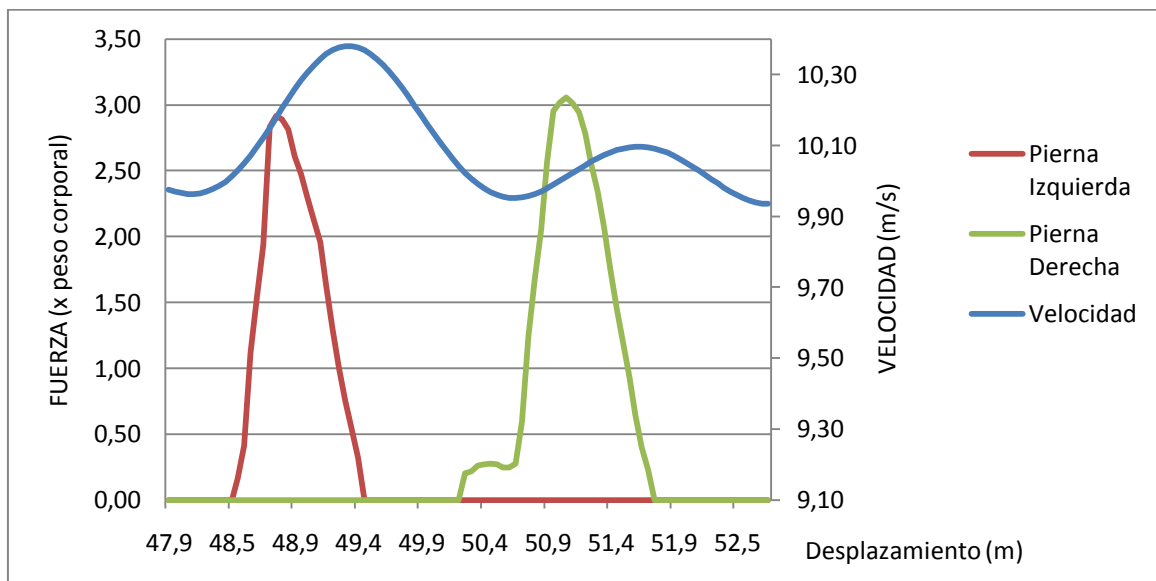


Figura 7: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de velocidad máxima

Nuevamente observamos en la figura 8 un pico de fuerza superior en el apoyo derecho. También se observa que ambos apoyos generan una aceleración tras la caída de la velocidad producida por la fase de vuelo pero ésta vez el pico de velocidad generado por el apoyo derecho es claramente superior al generado por la pierna izquierda.

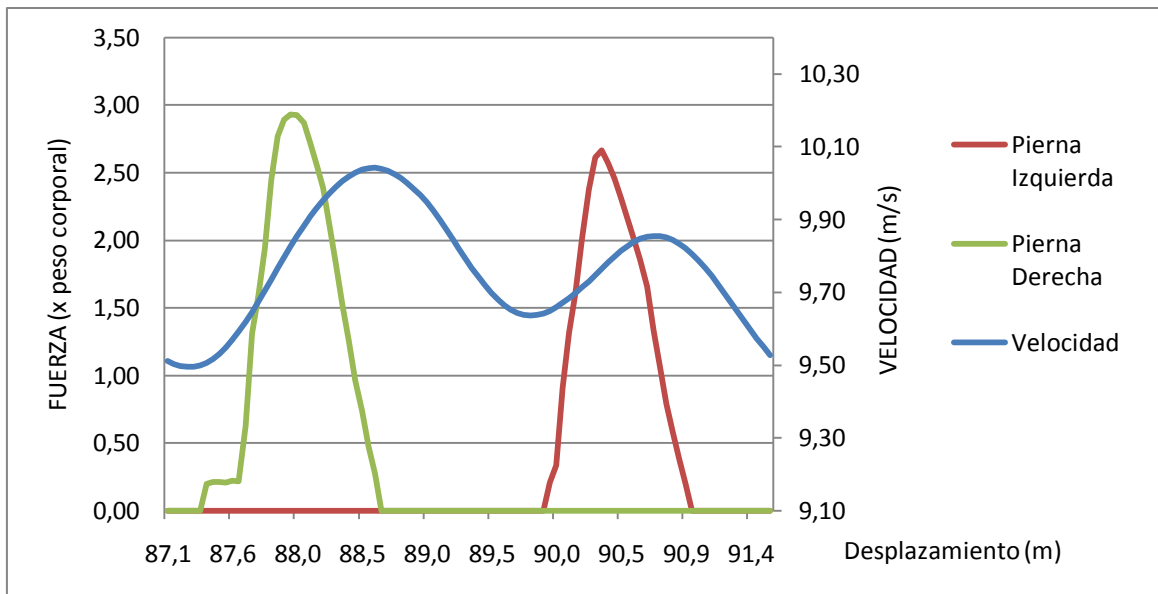


Figura 8: Fuerza en apoyos y velocidad durante la fase de velocidad-resistencia

5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

Tal y como se comentó anteriormente, al no poderse apreciar de forma detallada en el gráfico 1 las características cinéticas y cinemáticas de las diferentes fases de la carrera de 100 metros lisos, se decidió realizar un análisis pormenorizado de dichas fases tal y como se puede observar en las demás figuras. Para ello hemos analizado en cada fase un ciclo completo de carrera, es decir dos apoyos consecutivos.

Lo que se observa a primera vista es como existe un aumento casi constante de la velocidad en la primera fase, hecho lógico ya que el atleta está en la fase más aguda de la aceleración por haber partido de parado. Sin embargo, a partir de la fase 2 observamos fluctuaciones de la velocidad en cada apoyo y en la fase de vuelo que comentaremos a continuación.

En cuanto al tiempo de vuelo, observamos como en la fase 1 es muy escaso, hecho lógico debido a la escasa velocidad acumulada en ese momento que hace que las zancadas sean aún muy cortas. En cambio en las fases 2, 3 y 4 se observa como el tiempo de vuelo aumenta a la vez que la velocidad.

Se comprobó en el presente trabajo, de acuerdo con lo señalado por Broer y Zernicke (1979) que la fase de apoyo es, en cualquiera de las fases de la carrera de velocidad, en su mayor parte propulsiva.

Observamos también como los tiempos de apoyo en la carrera disminuyen con el aumento de la velocidad por lo que la absorción del impacto se produce en un reducido intervalo de tiempo tal y como señala Ferro (2001).

En la fase 1, se observa como la velocidad desciende, aunque de una manera muy ligera, tanto durante la breve fase de vuelo como durante la primera fase del apoyo derecho. Este hecho puede considerarse normal por tener los apoyos de ésta fase de la carrera unas características más explosivas, con mayores tiempos de apoyos que en las fases posteriores (hecho observable en el ancho de la gráfica de cada apoyo) debido a la escasa inercia acumulada por el atleta hasta ese momento.

Sin embargo, observamos como en las fases 2, 3 y 4 de la carrera, de acuerdo con lo encontrado en la literatura especializada (Broer y Zernicke, 1979; Novacheck, 1998),

que cuando el atleta va más lanzado, la velocidad aumenta desde el momento en el que el pie del atleta llega al apoyo, mientras que cuando el corredor está en la fase de vuelo la velocidad desciende sensiblemente.

Aunque en el inicio del apoyo derecho se observa constantemente una anomalía que no hemos sido capaces de identificar ni siquiera a través del análisis de vídeo a alta velocidad, no observamos en ningún caso un doble pico en las gráficas relativas a la fuerza vertical de los apoyos por lo que, en base a las aportaciones de Cavanagh y Lafortune (1980), Nilsson y Thorstensson (1989), Hreljac, Marshall y Hume (2000) y Perry, Burnfield y Cabico (2010) y a nuestros propios datos de vídeo, podemos afirmar que, de forma lógica, dadas las características de la prueba de 100 metros lisos, todos los apoyos de la carrera se producen con el mediopié.

Un hecho destacable es el más que aceptable nivel de simetría de los apoyos a lo largo de toda la carrera en lo que respecta a la fuerza vertical registrada. Sin embargo, ello no es así respecto de la velocidad generada por uno u otro pie ya que en la fase 2, cuando más elástico-explosivo es el esfuerzo, la pierna izquierda es la que genera más velocidad mientras que en las fases 3 y 4 cuando más reactivo es el esfuerzo es la pierna derecha la que más velocidad genera. Estas diferencias nos hacen pensar en la existencia de un importante margen de mejora en las fuerzas específicas de este atleta y en la necesidad de profundizar en estas cuestiones con el fin de poder ofrecer propuestas concretas de entrenamiento a los entrenadores.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

- Existen claras diferencias tanto en la cinética como en la cinemática de la carrera de 100 metros lisos en sus diferentes fases.
- Los novedosos medios tecnológicos utilizados en este estudio permiten, como nunca hasta la fecha, un estudio muy detallado de los datos cinéticos y cinemáticos de la carrera de 100m.

7. CONSIDERACIONES FINALES RESPECTO A LA APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGIAS EN EL ANALISIS DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

7. CONSIDERACIONES FINALES RESPECTO A LA APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO

La biomecánica deportiva es reconocida como clave para la mejora del rendimiento del deportista. A día de hoy existe tecnología suficiente para poder aportar resultados de análisis del rendimiento deportivo en tiempo real con una retroalimentación inmediata al entrenador y deportista que facilitarán la toma de decisiones efectivas.

En lo que concierne al análisis de la velocidad de desplazamiento, esencial para un gran número de deportes, a la espera de sistemas de medición móviles, adaptados al movimiento natural del deportista en su actividad y sin interferir en ella, se ha producido un gran avance con el uso de sistemas láser frente a técnicas clásicas como las células fotoeléctricas o la utilización del vídeo.

En la mayor parte de estudios similares al nuestro se utilizaron como material de medida las células fotoeléctricas y las plataformas de fuerza (Arampatzis et al., 1999; Munro et al., 1987). Una novedad fundamental de este trabajo es el uso de un sistema láser para la medición de la velocidad y el uso de plantillas podológicas instrumentadas incorporadas a las zapatillas del atleta para la obtención de la fuerza vertical.

Así, mientras las células fotoeléctricas solo dan la velocidad media del tramo situado entre dos células, el láser nos proporciona la velocidad instantánea durante toda la carrera a razón de 2000 datos por segundo.

Y lo mismo pasa con las plataformas de fuerza que solo dan el resultado de la fuerza al paso por la plataforma, en cambio mientras que con el uso de las plantillas instrumentadas podemos conocer la fuerza instantánea a lo largo de la carrera al estar incorporados los sensores de fuerza en las zapatillas.

Por tanto, el uso de estos nuevos instrumentos de medida nos permite conocer con mayor exactitud los datos tanto de velocidad como de fuerza instantáneos a lo largo de la carrera y, con ello, poder realizar un análisis más completo; por ello consideramos su uso en el entorno de las ciencias del deporte como una necesidad irrenunciable.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Arampatzis A, BruK ggemann G.P, Metzler V. (1999). *The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running*. Journal of Biomechanics 32: 1349-1353.

Broer, M.R.; Zernicke, R.F. (1979). *Efficiency of human movement*. 4ª ed. W.B. Saunders Company.

Cavanagh PR, LaFortune MA. (1980) *Ground reaction forces in distance running*. J Biomech. 13:397–406.

Cavanagh PR. (1990). *Biomechanics of distance running*. Human Kinetics Books.

Derrick TR. (2004). *The effects of knee contact angle on impact forces and accelerations*. Med Sci Sports Exerc. 36:832–7.

Dillman. (1975). *Kinematic analysis of running*. Exercise and Sports Science Reviews, 3, 193-218.

Doherty K. (1976). *Track and field omnibook*. Tafnews.

Ferro, A. (1996a). Proyecto de investigación: Análisis biomecánico de la técnica de la carrera en deportistas ciegos paralímpicos. En: Verdugo, M.A.; Jordan, F.B. *Hacia una nueva concepción de la discapacidad*, 217-234. Amarú Ediciones. Salamanca.

Ferro, A. (2001) *La Carrera de velocidad, Metodología de análisis biomecánico*. Editorial y librerías deportivas Estevan Sanz, S.L.

Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. (2000) *Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners*. Med Sci Sports Exerc. 32:1635–41.

Munro C, Miller D, J. Fuglevand A. (1987). *Ground reaction forces in running: a reexamination*. J. Biomechanics Vol. 20. No. 2, pp. 147-155.

Nilsson J, Thorstensson A. (1989). *Ground reaction forces at different speeds of human walking and running*. Acta Physiol Scand. 136:217–27.

Novacheck. (1998). *The biomechanics of running*. Gait Posture. 7:77–95.

Ounpuu S. (1990). *The biomechanics of running: a kinematic and kinetic analysis*. Instr Course Lect. 39:305–18.

Perry J, Burnfield JM, Cabico LM. (2010) *Gait analysis: normal and pathological function*. Thorofare, NJ: SLACK.

Schiffer J. (2009). *The sprints*. New studies in athletics. 24:1; 7-17.

Tsujino. (1966). *The kick in sprint running – an analysis of forces acting to the foot*. Kobe Journal of Medicine Science, 1-26.

Weber WE, Weber E. (1991). *Mechanics of the human walking apparatus*. Berlin; New York: Springer-Verlag.